Ueber die farbenzerstreuende Kraft der Atmosphäre.

Von **S. Stampfer,**

wirklichem Mitgliede der kais. Akademie der Wissenschaften.

(Vorgelesen in der Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Classe am 17. Jänner 1850.)

Die Frage, wie gross die farbenzerstreuende Kraft der Atmosphäre sei, hat nicht nur ein wissenschaftliches, sondern in der beobachtenden Astronomie zugleich ein praktisches Interesse. Bekanntlich muss bei Sonnen-Beobachtungen das Auge durch ein gefärbtes Glas geschützt werden. Da nun die Strahlen bei ihrem Durchgange durch die Atmosphäre gebrochen und somit ohne Zweifel auch zerstreut werden, so muss das Bild der Sonne ein in verticaler Richtung liegendes Spectrum bilden. Unmittelbar ist freilich diese Erscheinung nicht bemerkbar, dazu ist der Zerstreuungswinkel viel zu klein, dem ungeachtet können wir uns das Sonnenbild als eine Reihe farbiger Bilder denken, die einander zwar nahe aber nicht vollkommen decken, indem das rothe Bild die kleinste, das violete hingegen die grösste Höhe über dem Horizonte haben muss, woraus sogleich folgt, dass Blendgläser von verschiedener Farbe auch eine Verschiedenheit in der beobachteten Sonnenhöhe zur Folge haben werden.

Als vor 30 bis 40 Jahren die neuen Instrumente Reichenbach's eine bis dahin nicht gekannte Genauigkeit in die astronomischen Beobachtungen brachten, machte folgender Umstand den Astronomen viel zu schaffen. Die Schiefe der Ekliptik ergab sich nämlich aus den Solstitien im Sommer und Winter etwas verschieden. Die ersten Beobachter damaliger Zeit, Pond, Piazzi, Oriani, Arago, Zach fanden aus zahlreichen Beobachtungen mit den vollkommensten Instrumenten die Schiefe der Ekliptik aus den Winter-Solstitien um 1 bis 3, ja selbst bis 7 Secunden kleiner, als aus denen im Sommer.

Natürlich fehlte es nicht an Versuchen zur Erklärung dieser Differenz und Stephan Lee[1]) machte zuerst darauf aufmerksam, dass dieselbe im Gebrauche der farbigen Blendgläser ihren Grund haben könne. Indessen ergaben sich später die verschiedenen Erklärungen als unbegründet, als Bessel zuerst genau gleiche Resultate aus den Sommer- und Winter-Solstitien erhielt und zeigte, dass die berühmt gewordene Differenz theils in der gebrauchten Refractionsformel, theils in dem Einflusse der Sonnenstrahlen auf die Instrumente zu suchen sei, wenn diese gegen dieselben nicht mit der nöthigen Vorsicht geschützt werden.

Wegen der Farbenzerstreuung der Atmosphäre muss bei den verschiedenfarbigen Sternen die Refraction etwas verschieden sein, bei den rothen Sternen geringer, als bei den weissen oder grünen. Gewöhnlich wird dieser Unterschied wohl unmerklich sein, da er meistens nur einen Bruchtheil einer Bogensecunde betragen wird, allein in Fällen, wo eine besondere Genauigkeit angestrebt wird, kann ein derartiger Einfluss sehr merklich werden, z. B. bei den Distanzen der Doppelsterne, wenn die Sterne an Farbe bedeutend verschieden sind, da diese Distanzen bis auf Hunderttheile der Bogensecunde genau gemessen werden. Steht z. B. ein solches Sternenpaar senkrecht übereinander in 30° Höhe und beträgt das Farben-Intervall desselben $^1/_5$ von jenem zwischen roth und violet, so wird die Distanz um mehr als

---

[1]) Ueber die strahlenzerstreuende Kraft der Atmosphäre. Bode's astronom. Jahrbuch für 1819.

$^1/_2$ Secunde verschieden sein, je nachdem der Stern von mehr brechbarem Lichte höher oder tiefer steht, als der andere.

Die Sache ist demnach von bedeutendem Interesse, und ich habe desshalb eine Reihe von Versuchen vorgenommen, zur Bestimmung des Zerstreuungsverhältnisses der Atmosphäre. Zwar hat schon Lee viele Versuche zu diesem Zwecke angestellt, allein sein Verfahren war von dem meinigen gänzlich verschieden und bestand im Folgenden. Er beobachtete mit einem Teleskope von nahe 200maliger Vergrösserung Fixsterne und Planeten in geringen Höhen über dem Horizonte, wobei dieselben in ein prismatisches Farbenbild ausgedehnt erschienen, und ging nun darauf aus, die verticale Ausdehnung dieser Bilder im Verhältniss zur horizontalen zu messen. Verschiedene Micrometer-Vorrichtungen im Oculare genügten ihm nicht, besonders wenn sie eine Beleuchtung erforderten, wobei ein Theil des prismatischen Lichtes des Sternes verschwand. Zuletzt bemalte er auf Papier Figuren von verschiedener Länge mit den prismatischen Farben und verglich die prismatischen Bilder der Sterne mit diesen gemalten Bildern. Auf diese Art fand Lee aus vielen Beobachtungen die Ablenkung des äussersten Lichtstrahles $= {}^1/_{60}$ bis ${}^1/_{70}$ der ganzen Refraction.

Man wird kaum geneigt sein, dieser Bestimmungsart einen befriedigenden Grad von Genauigkeit zuzuerkennen. Nicht nur ist die Vergleichung des Bildes eines Sternes mit den bemalten Bildern an sich schon unsicher, sondern sie hängt auch zu sehr von dem individuellen Urtheile des Beobachters ab, und wird zugleich durch den Umstand erschwert, dass das prismatische Bild der Sterne wegen des Undulirens der Luft in beständiger ziemlich heftiger Bewegung ist. Ferner ist es bekannt, dass auch die Ocularlinsen prismatische Farben an den Sternen erzeugen.

Ich habe die Aufgabe durch Beobachtungen der Sonne nahe am Horizont aufzulösen gesucht. Zu diesem Ende liess ich am 18zölligen Höhenkreise, welcher der mathematischen Sammlung des polytechnischen Institutes gehört, die Micrometerschraube der Alhidate mit einem eingetheilten Kopfe versehen und überhaupt so einrichten, dass man sich auf die Richtigkeit der Schraubenbewegung verlassen konnte. Zahlreiche Versuche bestätigten dieses, auch ergab sich der Werth eines Schraubenganges ohne wesentlichen Fehler gleichförmig $= 236'' 70$. Ich änderte nun den Höhenwinkel des Fernrohres fortwährend um 1 Schraubengang, und beobachtete den Antritt des Sonnenrandes an den Horizontalfaden abwechselnd mit einem rothen und blauen Blendglase. Da wegen der ungleichen Brechbarkeit das blaue Sonnenbild höher steht, als das rothe, so muss die Wirkung hievon auf die Zeitintervalle abwechslungsweise positiv und negativ werden, und die halbe Differenz zweier aufeinander folgender Zeitintervalle muss dem Höhenunterschiede entsprechen zwischen dem rothen und blauen Sonnenbilde oder dem Zerstreuungswinkel dieser beiden Farben.

Die ausgezeichnet schönen Tage in der ersten Hälfte Decembers 1848 wurden zu diesen Beobachtungen benützt. Die Sonne war selbst unmittelbar nach ihrem Aufgange so rein, ihr Licht von solcher Intensität, wie ich dieses kaum jemals in gleichem Grade beobachtet habe. Die Blendgläser waren sehr nahe von gleicher Stärke, weil aber nahe am Horizont die blauen Strahlen durch die Atmosphäre zum Theil verschluckt werden, und desshalb die Sonne durch das blaue Glas bedeutend dunkler erscheint, als durch das rothe, so befürchtete ich, das erstere Glas könne den Sonnendurchmesser kleiner zeigen und dadurch ein constanter Fehler in die Beobachtungen kommen. Um einen solchen zu umgehen, bezog ich die Beobachtungen an den beiden letzten Tagen auf einen Sonnenflecken, der hierzu vorzüglich geeignet, schön rund und scharf begränzt war. Es ergab sich jedoch kein auffallender Unterschied gegen die frühern Tage, an welchen der untere Sonnenrand beobachtet wurde.

Die scheinbare Höhe, welche zur Berechnung der Refraction nöthig ist, wurde für die letzte Beobachtung unmittelbar vom Kreise abgelesen, für die übrigen ergibt sie sich mittelst der Schraubengänge. Die Zeitmomente wurden an einem Chronometer beobachtet, der gegen mittlere Zeit täglich um 17″ voreilte, worauf jedoch keine Rücksicht genommen wurde, da es sich hier nur um ein Paar Secunden

handelt. Zur weitern Berechnung wurden die Beobachtungen eines jeden Tages in mehrere Gruppen getheilt und innerhalb einer jeden Gruppe die einfachen Mittel genommen. Wenn auch dieses nicht in aller Strenge richtig ist, so ist doch der Fehler im Verhältniss zur Unsicherheit der Beobachtungen ganz unmerklich.

In der folgenden tabellarischen Zusammenstellung der Beobachtungen und ihrer Berechnung haben die Buchstaben folgende Bedeutung:

b = Barometerstand in Pariserlinien; t, t' innere und äussere Temperatur nach Réaumur.

Die Beobachtungen mit dem rothen Glase sind durch R, jene mit dem blauen durch B bezeichnet.

a = Zwischenzeit zweier aufeinander folgender Beobachtungen, wenn das rothe Glas vorausgeht,

a' dasselbe, wenn das rothe Glas nachfolgt.

c die Aenderung der scheinbaren Höhe in 1 Zeitsecunde; sie ergibt sich aus der ersten und letzten Beobachtung einer jeden Gruppe.

h die scheinbare Höhe für die Mitte der Gruppe, R die entsprechende wahre Refraction, beide bezogen auf den anvisirten Punct der Sonne.

Ist ∂R die gesuchte Zerstreuung, so ist $\partial R = \frac{(a'-a)c}{2}$.

Die Höhenänderung zwischen den einzelnen Beobachtungen ist durchgehends = 1 Schraubengang = 236″7.

Beobachtungen am 11. December 1848 Morgens.

	Chronometer	$b = 336.0$; $t = 13^\circ$; $t' = +3^\circ 5$ Letzte Beobachtung $h = 5^\circ\ 15'2$		
R	8h 17m 36″2	**a**	**a′**	
B	18 6.0	29″8	34″4	$h = 2^\circ\ 57'0$
R	18 40.4	30.4	35.0	$R = 888''$
B	19 10.8	30.2	35.0	$c = 7''22$
R	19 45.8	31.0	35.4	$\partial R = 16''17$
B	20 16.0	31.0	35.0	$\frac{\partial R}{B} = 0.0182$
R	20 51.0	Mittel 30.48	34.96	
B	21 22.0			
R	21 57.4	$\frac{a'-a}{2} = 2''24$		
B	22 28.4			
R	23 3.4			
R	23 3.4	**a**	**a′**	
B	23 34.8	31.4	35.2	$h = 3^\circ\ 36'5$
R	24 10.0	31.6	35.8	$R = 770''$
B	24 41.6	31.6	35.6	$a = 7.14$
R	25 17.4	31.0	35.0	$\partial R = 13\ 85$
B	25 49.0	31.0	34.8	$\frac{\partial R}{R} = 0.0180$
R	26 24.6	Mittel 31.40	35.28	
B	26 55.6			
R	27 30.6	$\frac{a'-a}{2} = 1''94$		
B	28 2.0			
R	28 36.8			

	Chronometer	$b = 336.0;\ t = 13^\circ;\ t' = +3^\circ.5$ — Letzte Beobachtung $h = 5^\circ\ 15'.2$			
R	8h 28m 36s.8		**a**	**a'**	
B	29 7.6		30.8	35.2	$h = 4^\circ\ 16'.0$
R	29 42.8		31.0	34.6	$R = 683''$
B	30 13.8		31.0	34.2	$c = 7''.20$
R	30 48.4		31.4	35.2	$\partial R = 13''.82$
B	31 19.4		31.2	35.4	
R	31 53.6	Mittel	31.08	34.92	$\frac{\partial R}{R} = 0.0202$
B	32 25.0				
R	33 0.2	$\frac{a' - a}{2} = 1''.92$			
B	33 31.4				
R	34 6.8				
R	34 6.8		**a**	**a'**	
B	34 38.8		32''.0	36''.4	$h = 4^\circ\ 55'.5$
R	35 15.2		32.4	35.2	$R = 608''$
B	35 47.6		32.0	35.2	$c = 7''.05$
R	36 22.8		31.6	35.2	$\partial R = 12''.55$
B	36 54.8		32.0	35.8	
R	37 30.0	Mittel	32.00	35.56	$\frac{\partial R}{R} = 0.0206$
B	38 1.6				
R	38 36.8	$\frac{a' - a}{2} = 1''.78$			
B	39 8.8				
R	39 44.6				

Beobachtungen am 12. December.

	Chronometer	$b = 335.5;\ t = 12^\circ;\ t' = +6^\circ.5$ — Letzte Beobachtung $h = 4^\circ\ 8'.7$			
R	8h 15m 10s.6		**a**	**a'**	
B	15 40.8		30''.2	34''.8	$h = 2^\circ\ 30'.0$
R	16 15.6		30.0	35.6	$R = 968''$
B	16 45.6		29.8	35.6	$c = 7''.27$
R	17 21.2		29.8	35.8	$\partial R = 20''.21$
B	17 51.0		29.8	35.6	
R	18 26.6	Mittel	29.92	35.48	$\frac{\partial R}{R} = 0.0209$
B	18 56.4				
R	19 32.2	$\frac{a' - a}{2} = 2''.78$			
B	20 2.0				
R	20 37.6				

	Chronometer	$b = 335.5;\; t = 12^\circ;\; t' = +6^\circ 5$ — Letzte Beobachtung $h = 4^\circ\, 8'7$		
		a	**a'**	
R	$8^h\, 20^m\, 37^s.6$			
B	21 8.0	30″4	35″6	$h = 3^\circ\, 9'5$
R	21 43.6	30.2	35.4	$R = 831''$
B	22 13.8	30.8	34.8	$c = 7''24$
R	22 49.2	30.4	34.8	$\delta R = 16''80$
B	23 20.0	30.8	35.2	$\frac{\delta R}{R} = 0.0202$
R	23 54.8	Mittel 30.52	35.16	
B	24 25.2			
R	25 0.0	$\frac{a'-a}{2} = 2''32$		
B	25 30.8			
R	26 6.0			
R	26 6.0	**a**	**a'**	
B	26 36.8	30″8	34″4	$h = 3^\circ\, 49'0$
R	27 11.2	31.6	35.2	$R = 728''$
B	27 42.8	30.8	34.8	$c = 7''20$
R	28 18.0	31.0	35.6	$\delta R = 13''82$
B	28 48.8	31.2	34.6	$\frac{\delta R}{R} = 0.0190$
R	29 23.6	Mittel 31.08	34.92	
B	29 54.6			
R	30 30.2	$\frac{a'-a}{2} = 1''92$		
B	31 1.4			
R	31 36.0			

Beobachtungen am 13. December.

	Chronometer	$b = 335.0;\; t = 13^\circ;\; t' = +5^\circ 5$ — Letzte Beobachtung $h = 4^\circ\, 30'7$		
		a	**a'**	
R	$8^h\, 16^m\, 42^s.0$			
B	17 12.4	30″4	35″2	$h = 2^\circ\, 52'0$
R	17 47.6	29.6	35.6	$R = 891''$
B	18 17.2	30.0	34.8	$c = 7''26$
R	18 52.8	30.8	34.6	$\delta R = 16''55$
B	19 22.8	31.0	34.4	$\frac{\delta R}{R} = 0.0186$
R	19 37.6	Mittel 30.36	34.92	
B	20 28.4			
R	21 3.0	$\frac{a'-a}{2} = 2''28$		
B	21 34.0			
R	22^m 8.4			

	Chronometer	$b = 335.0;\ t = 13^{\circ};\ t' = +5^{\circ}.5$ Letzte Beobachtung $h = 4^{\circ}\ 30'.7$			
R	8h 22′ 8″.4		a	a′	
B	22 38.8		30″.4	35″.6	$h = 3^{\circ}\ 31'.5$
R	23 14.4		30.4	35.2	$R = 773''$
B	23 44.8		30.4	34.4	$c = 7''.22$
R	24 20.0		31.2	34.8	$\partial R = 15''.02$
B	24 50.4		31.4	34.6	
R	25 24.8	Mittel	30.76	34.92	$\frac{\partial R}{R} = 0.0194$
B	25 56.0				
R	26 30.8	$\frac{a' - a}{2} = 2''.08$			
B	27 2.2				
R	27 36.8				
R	27 36.8		a	a′	
B	28 8.0		31.2	34.4	$h = 4^{\circ}\ 11'.0$
R	28 42.4		30.8	35.6	$R = 683''$
B	29 13.2		31.2	35.2	$c = 7''.17$
R	29 48.8		31.4	35.0	$\partial R = 13''.77$
B	30 20.0		30.8	34.4	
R	30 55.2	Mittel	31.08	34.92	$\frac{\partial R}{R} = 0.0202$
B	31 26.6				
R	32 1.6	$\frac{a' - a}{2} = 1''.92$			
B	32 32.4				
R	33 6.8				

Beobachtungen am 14. December.

	Chronometer	$b = 334.5;\ t = 12^{\circ}.5;\ t' = -0^{\circ}.5$ Letzte Beobachtung $h = 4^{\circ}\ 19'.2$			
R	8h 22′ 26″.8		a	a′	
B	22 57.6		30″.8	35″.2	$h = 3^{\circ}\ 28'.0$
R	23 32.8		30.4	34.8	$R = 808''$
B	24 3.2		31.6	35.2	$c = 7''.20$
R	24 38.0		30.0	34.4	$\partial R = 14''.04$
B	25 9.6		31.8	34.6	
R	25 44.8	Mittel	30.92	34.84	$\frac{\partial R}{R} = 0.0175$
B	26 14.8				
R	26 49.2	$\frac{a' - a}{2} = 1''.96$			
B	27 21.0				
R	27 55.6				

	Chronometer	$b = 334.5;\ t = 12^{\circ}.5;\ t' = -0^{\circ}.5$ Letzte Beobachtung $h = 4^{\circ}\ 19'.2$			
R	$8^h\ 27'\ 55''.6$		**a**	**a'**	
B	28 26.8		31''.2	34''.8	$h = 4^{\circ}\ 3'.5$
R	29 1.6		31.2	34.8	$R = 722''$
B	29 32.8		31.6	35.2	$c = 7''.15$
R	30 7.6		31.0	35.0	$\partial R = 13''.23$
B	30 39.2	Mittel	31.25	34.95	$\frac{\partial R}{R} = 0.0183$
R	31 14.4	$\frac{a' - a}{2} = 1'.85$			
B	31 45.4				
R	32 20.4				

Zusammenstellung .... $\frac{\partial R}{R} =$	
0.0182	11. December.
0.0180	
0.0202	
0.0206	
0.0209	12. December.
0.0202	
0.0190	
0.0186	13. December.
0.0194	
0.0202	
0.0175	14. December.
0.0183	
Mittel 0.01925	

Die Uebereinstimmung unter den Beobachtungen lässt, wie man sieht, noch vieles zu wünschen übrig, besonders in den Zeitintervallen a, a' zeigen sich grosse Sprünge. Die Beobachtungen waren aber auch durch die heftigen Wallungen der Luft so erschwert, dass die Antritte an den Faden nur ungefähr geschätzt werden konnten. Ausser der gewöhnlichen wellenförmigen Bewegung bemerkte ich förmliche Hebungen und Senkungen, welche sich über einen grösseren Theil des Sonnenrandes erstreckten, was offenbar Fehler in den Antrittsmomenten zur Folge haben muss. In grösseren Höhen werden zwar diese Störungen geringer, allein die Refraction R, mithin auch ∂R, nimmt in noch stärkerem Verhältnisse mit zunehmender Höhe ab, so dass doch die Beobachtungen nahe am Horizont zu diesem Zwecke die geeignetsten sein werden. Ich hatte keine Gelegenheit, die Beobachtungen bei untergehender Sonne vorzunehmen, wo sich wahrscheinlich eine grössere Sicherheit wird erreichen lassen, weil da die Wallungen der Luft in der Regel geringer sind. Uebrigens sind die zu diesen Beobachtungen günstigen Tage ziemlich selten, weil sie einen hohen Grad von Reinheit der Luft nahe am Horizont erfordern. Gewöhnlich ist das Sonnenlicht mehr oder weniger roth, wo dann die blauen Strahlen grossentheils absorbirt sind. Hieran knüpft sich von selbst die Bemerkung, dass die Refraction der weissen Sterne nahe am Horizont sich jener des rothen Strahles nähert, vorausgesetzt, dass die scheinbare Mitte des vorzugsweise roth erscheinenden Sternes pointirt wird.

Die gewöhnliche Bezeichnung des Zerstreuungsverhältnisses ist $\frac{\partial\mu}{\mu-1}$, wo μ den Brechungsexponenten, für die mittleren Strahlen, $\partial\mu$ die Aenderung desselben für einen Seitenstrahl bedeuten. Denkt man sich den Bogen für den Sinus gesetzt, was näherungsweise erlaubt ist, so drückt der Bruch $\frac{\partial\mu}{\mu-1}$ das Verhältniss der Zerstreuung zur Brechung aus und hat somit mit unserm Ausdrucke $\frac{\partial R}{R}$ gleiche Bedeutung. Um die gefundene Zerstreuung der Atmosphäre mit jener anderer Körper vergleichen zu können, war es nöthig, das Farben-Intervall der beiden benützten Blendgläser näher zu bestimmen. Durch Vergleichung mit dem Prisma-Spectrum fand ich das rothe Glas sehr nahe mit der Stelle C (nach Fraunhofer's Bezeichnung) übereinstimmend; das blaue Glas fällt nahe in die Mitte zwischen F und G. Aus mehreren Bestimmungen mit verschiedenen Prismen ergab sich das Intervall der beiden Blendgläser $= 1,26\ BF$, wo BF das bekannte Intervall nach Fraunhofer. Für dasselbe Intervall ist nach Fraunhofer's Versuchen

$$\text{bei Crownglas } \frac{\partial\mu}{\mu-1} = 0{,}0241,$$

$$\text{bei Wasser } \frac{\partial\mu}{\mu-1} = 0{,}0288,$$

für die Atmosphäre hat sich ergeben $\frac{\partial R}{R} = 0{,}01925$, wornach die zerstreuende Kraft der Atmosphäre etwa $^4/_5$ von jener des Crownglases, oder $^3/_4$ von der des Wassers sein würde. Wie nahe der Werth $\frac{\partial R}{R} = 0{,}01925$ der Wahrheit kömmt, lässt sich mit einiger Sicherheit nicht angeben, denn Beobachtungen unter andern Umständen und zu andern Jahreszeiten können möglicher Weise nicht unbedeutend andere Resultate geben; ja es ist erst die Frage, ob das Verhältniss $\frac{\partial R}{R}$ zu verschiedenen Zeiten und für die verschiedenen Zustände der Atmosphäre überhaupt constant ist. Jedenfalls sind meine Arbeiten nur als ein erster Versuch anzusehen und es würde mich sehr freuen, wenn Andere sich zur Fortsetzung derselben angeregt finden würden, denen hiezu zu verschiedenen Jahreszeiten eine günstige Gelegenheit sich darbietet. Anstatt der gleichen Höhenunterschiede mittelst der Micrometerschraube kann man auch zwei Horizontalfäden in einem Abstande von 2 bis 3 Bogenminuten anwenden, und die Antritte an dieselben wechselweise mit den Blendgläsern beobachten.

Bei verschiedenfarbigen Doppelsternen hat der Unterschied der Refraction sowohl auf die Distanz als auf den Positionswinkel Einfluss, und bei der hohen Vollkommenheit, mit welcher die Messungen an Doppelsternen mittelst der grossen Refractoren gegenwärtig ausgeführt werden, dürfte es nicht schwer sein, durch geeignete Beobachtungen diesen Einfluss direct nachzuweisen.
